

## Stand der Technik und zukünftige Entwicklungen der Mensch-Roboter-Interaktion

Sascha WISCHNIEWSKI<sup>1</sup>, Patricia H. ROSEN<sup>1</sup>, Britta KIRCHHOFF<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Fachgruppe „Human Factors, Ergonomie“*

<sup>2</sup> *Wissenschaftliche Leitung des Fachbereichs „Produkte und Arbeitssysteme“  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)  
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund*

**Kurzfassung:** Die Möglichkeiten zur Einführung hybrider Arbeitssysteme mit einer direkten Zusammenarbeit von Menschen und robotischen Systemen ohne trennende Schutzeinrichtungen nimmt aufgrund der technologischen Weiterentwicklungen in Produktions- und Dienstleistungskontexten kontinuierlich zu. Dabei sind die Einsatzbereiche und ihre Rahmenbedingungen für einen menschenzentrierten Einsatz entsprechend der zugrunde liegenden Technologie und der Arbeitsaufgabe zum Teil deutlich voneinander zu unterscheiden: So findet sich die Kollaboration überwiegend im Bereich der Industrierobotik, wo diese Systeme beispielsweise als flexible Hebe- und Positionierhilfe genutzt werden. Kooperation und Koexistenz finden sich dagegen eher in Bereichen der (mobilen) Leichtbau- und Servicerobotik, wo die Systeme in der Regel repetitive und damit automatisierbare Tätigkeiten des Menschen übernehmen und parallel oder sequenziell zum Menschen ihre Aufgaben verrichten. Der vorliegende Beitrag stellt den Stand der Technik vor, diskutiert die Potentiale und Grenzen der Mensch-Roboter-Interaktion sowie ausgewählte Entwicklungsbedarfe und die daraus folgenden Konsequenzen für eine menschengerechte Dialog- und Arbeitsgestaltung.

**Schlüsselwörter:** Roboterklassifikation, Sicherheitstechnik, Aufgabengestaltung, Interaktionsgestaltung

### 1. Einleitung

Im verarbeitenden Gewerbe nutzten im vergangenen Jahr 16 Prozent der Unternehmen in Deutschland mit mindestens zehn Beschäftigten Industrie- oder Service-roboter (DESTATIS 2018). Im Hinblick auf die internationale Verbreitung können Kennzahlen der International Federation of Robotics (IFR) herangezogen werden. Diese erhebt jährlich die weltweiten Verkaufszahlen aller Roboterhersteller. Laut den aktuellen Statistiken stiegen im Jahr 2017 die Verkaufszahlen von Industrierobotern um 30 Prozent im Vergleich zum Vorjahr. Mit 381.335 erreichten die Verkaufszahlen damit einen neuen Höhepunkt, das fünfte Jahr in Folge (IFR 2018a). Ein noch deutlicher Anstieg der Verkaufszahlen lässt sich bei gewerblichen Servicerobotern beobachten. Im Vergleich zum Vorjahr stiegen hier die Verkaufszahlen um 85 Prozent von 59.269 auf 109.543 Stück (IFR 2018b). Während die Automobilindustrie bereits viele Jahre durch einen hohen Grad an (Teil-)Automatisierung und den Einsatz robotischer Systeme gekennzeichnet ist, findet diese Technologie in anderen Bereichen, wie beispielsweise dem Pflegebereich bisher eine geringere Anwendung. Technische

Weiterentwicklungen im Bereich der Sensorik und Aktorik robotischer Systeme erlauben prinzipiell eine erweiterte Nutzung dieser Assistenzsysteme auch in bisher wenig durch Automatisierung gekennzeichneten Branchen. Inwieweit die herstellerseitigen Möglichkeiten tatsächlich Anwendung in der betrieblichen Gestaltung finden, ist zum jetzigen Zeitpunkt nur bedingt abzusehen.

Insbesondere für einen menschengerechten Einsatz robotischer Systeme sind die Einsatzbereiche, ihre Rahmenbedingungen, die technologischen Merkmale, die Interaktionsgestaltung und die Gestaltung der Arbeitsaufgabe zu berücksichtigen.

## 2. Stand der Technik

Für eine Darstellung des Standes der Technik sind zunächst verschiedene Arten robotischer Systeme zu unterscheiden. Roboterarten lassen sich anhand verschiedener Merkmale klassifizieren. Eine Möglichkeit der Klassifikation bezieht sich auf den Anwendungsfall des Roboters. Hier kann zwischen einer industriellen und einer nichtindustriellen Anwendung unterschieden werden. So differenziert die ISO 8373:2012 zwischen Industrie- und Servicerobotern. Dieser Klassifikation folgt auch die International Federation of Robotics (IFR). Unter einem Industrieroboter wird ein „automatisch gesteuerter, frei programmierbarer Mehrzweck-Manipulator“ verstanden, „der in drei oder mehr Achsen programmierbar ist und zur Verwendung in der Automatisierungstechnik entweder an einem festen Ort oder beweglich angeordnet sein kann.“ Dabei umfasst ein Industrieroboter den Manipulator (einschließlich Aktuatoren), das Steuergerät und jede Kommunikationsschnittstelle. Die Norm führt weiter auf, dass handgeführte Roboter, die manipulierenden Teile von mobilen Robotern und auch „kollaborierende Roboter“ als Industrieroboter betrachtet werden.

Serviceroboter hingegen erfüllen nützliche Aufgaben für Menschen oder Gerätschaften ausgenommen von industriellen Automatisierungsanwendungen. Industrielle Automatisierung beinhaltet hierbei unter anderem die Herstellung, Prüfung, Verpackung und Montage von Produkten. Wie auch im industriellen Bereich können auch mehrachsige Roboter als Serviceroboter klassifiziert werden (ISO 8373: 2012).

Darüber hinaus lassen sich weitere Kategorisierungsmöglichkeiten heranziehen. Diese können sich auf ihren Anwendungsfall, ihre Fortbewegungsfähigkeit oder Kinematik beziehen. So erfolgt die Kategorisierung von Robotern des Institutes of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) anhand des spezifischen Anwendungskontextes. Beispielhaft ist hier die Unterscheidung zwischen Luft- und Raumfahrt Robotern, Katastrophenrobotern, Drohnen, Lehrrobotern, Unterhaltungsrobotern, Exoskeletten, Industriellenrobotern, Medizinrobotern oder autonomen Fahrzeugen zu nennen (IEEE: „Types of Robots“ o. D.). Eine Kategorisierung anhand der mechanischen Struktur unterscheidet beispielsweise zwischen linearen, gelenkartigen oder zylindrischen Robotern (IFR 2018c).

Je nach Beschaffenheit und Bestimmungszweck kann ein Roboter für unterschiedliche Interaktionsformen verwendet werden. Eine Differenzierung der Interaktionsformen ist erforderlich da hierdurch unterschiedliche Herausforderungen für eine menschengerechte Gestaltung erwachsen. Unterschieden werden kann in Kollaboration, Kooperation und Koexistenz (Onnasch et al. 2016). Die Koexistenz beschreibt eine Interaktionsform bei der Mensch und Roboter episodisch aufeinander treffen, jedoch keine gemeinsame Zielstellung verfolgen. Diese Interaktionsform lässt sich in der Praxis häufig finden. Sie entspricht allen Formen von eingezäunter Industrierobo-

tik. Weitere koexistierende Szenarien sind Fahrerlosetransportsysteme, beispielsweise ein Wäschetransportroboter im Krankenhaus.

Die Interaktionsform der Kooperation beschreibt den Fall, dass Mensch und Roboter auf ein gemeinsames übergeordnetes Ziel hinarbeiten, die einzelnen Teilhandlungen aber nicht unbedingt zeitlich voneinander abhängig sind. Ein Beispiel ist ein Leichtbauroboter, der vormontierte Teile an einem Werkstück befestigt.

Die Kollaboration beschreibt die engste Interaktionsform. Beide Interaktionspartner verfolgen eine gemeinsame Zielstellung. Teilhandlungen zur Zielerreichung werden gemeinsam durchgeführt. Ein Beispielszenario ist ein Schweißroboter der ein Werkstück hält, während der Werker gleichzeitig Schweißarbeiten vornimmt. Eine detailliertere Differenzierung findet sich bei Bauer und Kollegen (2016). Sie unterscheiden die Interaktionsformen Zelle, Koexistenz, Synchronisiert, Kooperation sowie Kollaboration. Wobei die Interaktionsform „Zelle“ sich auf den klassischen Schutzzaunbetrieb bezieht und somit eine Unterkategorie der Koexistenz darstellt. Die Interaktionsform „Synchronisiert“ kann als Unterkategorie von Kooperation verstanden werden.

Die Taxonomie zur Klassifikation der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) von Onnasch et al. berücksichtigt neben der Interaktionsform die Aufgabe des Roboters, die Morphologie sowie das Einsatzgebiet bzw. den Anwendungsfall (2016). Die unterschiedlichen Robotertypen und die damit verbundenen Interaktionsformen stellen neue Anforderungen an eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung.

## 2.1 Sicherheitstechnik

Im Sinne der Humankriterien ist zunächst die Stufe der Schädigungslosigkeit zu berücksichtigen (BAuA 2018). Hinsichtlich der Sicherheitstechnik müssen insbesondere für kooperierende und kollaborierende Interaktionsszenarien herkömmliche Schutzmaßnahmen erweitert werden. Neben traditionellen Maßnahmen wie Lichtvorhängen oder Laserscannern können auch innovative Schutzmaßnahmen wie die Kraftbegrenzung oder die Begrenzung des Bewegungsbereichs herangezogen werden (DGUV 2017).

Nach der ISO TS 15066 sind für die koexistierenden Interaktionsformen verschiedene Schutzmaßnahmen vorgesehen. Dazu zählen die Handführung, der sicherheitsgerichtete Stopp, die Überwachung von Geschwindigkeit und Abstand sowie die Leistungs- und Kraftbegrenzung. Die zuletzt genannte Schutzmaßnahme ermöglicht auch eine kooperierende oder kollaborierende Interaktionsform. Dabei muss die Funktion der Leistungs- und Kraftbegrenzung über verschiedene Sicherheitsfunktionen verfügen: Sichere Überwachung und Begrenzung des Drucks an Kontaktflächen; Sichere Überwachung der Geschwindigkeit einer Stoppreaktion; Sichere Überwachung der Position (Raumgrenze, oder einzelner Achsen). Eine Zugangssicherung (z. B. Zugangscodes) und ein Zustimmschalter sind bei Industrierobotern verpflichtende Sicherheitsfunktionen. Bei Kooperations- und Kollaborationssystemen kann auf einen Zustimmschalter verzichtet werden, wenn durch Sicherheitsvorkehrungen alle Tätigkeiten wie Wartung, Instandhaltung, Einrichten oder Programmieren genauso sicher ausgeführt werden können wie mit einem Zustimmschalter (DGUV 2017).

## 2.2 Ergonomie

Aufbauend auf den verschiedenen zu berücksichtigenden Aspekten der Sicherheitstechnik sollte dann eine Gestaltung entsprechend den Forderungen nach Aus-

führbarkeit, Beeinträchtigungsfreiheit sowie entsprechender Gesundheits- und Persönlichkeitsförderlichkeit erfolgen (BAuA 2018). Dabei ermöglichen die technologischen Weiterentwicklungen hinsichtlich Sensorik, Aktorik, Mobilität und Steuerung neue Möglichkeiten zur zielgerichteten Erreichung entsprechend ebendieser Human-kriterien: Zum einen entstehen neue Möglichkeiten der physischen Unterstützung bei Überbelastungen. Nicht nur schwere Lasten oder Bewegungen mit einer hohen Wiederholungszahl können unterstützt werden. Die Verknüpfung von Methoden zur Arbeitsplanung mit flexiblen Robotertechnologien ermöglicht eine an die Beschäftigten angepasste und individualisierbare Mensch-Roboter-Interaktion (Deuse et al. 2016).

Zum anderen bieten innovative Robotertechnologien auch das Potential, Aspekte der kognitiven Ergonomie zu verbessern. Zentraler Ansatzpunkt für die Arbeitsgestaltung stellt die Arbeitsaufgabe dar (Ulich 2005). Bei einer menschenzentrierten Gestaltung neuer Arbeitssysteme bestehend aus Mensch und Roboter, kann die Mensch-Roboter-Interaktion möglicherweise Chancen für eine belastungsoptimalere Aufgabengestaltung bieten (Rosen & Wischniewski 2018). Insbesondere Aspekte der Aufgabenallokation sowie des Tätigkeitsspielraums können ihr Ressourcenpotential bei einer menschengerechten Systemgestaltung entfalten. Auch müssen bei der Gestaltung dieser hybriden Arbeitssysteme mit Robotertechnologien traditionelle, arbeitswissenschaftliche Prinzipien berücksichtigt werden. Zu nennen ist hier zunächst die Passung zwischen Robotertechnologie und Arbeitsaufgabe (Goodhue & Thompson 1995). Des Weiteren müssen allgemeingültige ergonomische Prinzipien der Interaktionsgestaltung berücksichtigt werden. Die Grundsätze Aufgabenangemessenheit, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit, Erwartungskonformität, Lernförderlichkeit, Selbstbeschreibungsfähigkeit und Steuerbarkeit sind bisher vor allem für die Softwaregestaltung hinreichend erforscht und etabliert. Die Dialogprinzipien nach DIN EN ISO 9241-110 zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit sollten jedoch auch Ansatzpunkt für die Bewertung und Gestaltung der Mensch-Roboter-Interaktion sein (Rosen et al. 2019).

### **3. Erforderliche Entwicklungen aus ergonomischer Perspektive**

Um die hier beschriebenen Potentiale der Mensch-Roboter-Interaktion für eine sichere, gesunde und wettbewerbsfähige Gestaltung der Arbeit zu realisieren, ist die Beantwortung verschiedener wissenschaftlicher Fragestellungen essentiell. Im Folgenden werden ausgewählte Thesen aufgestellt. Diese Thesen sollten bei zukünftiger Forschung berücksichtigt werden, um verschiedene Herausforderungen bei der Gestaltung von hybriden Arbeitsplätzen mit Einsatz robotischer Systeme zu bewältigen. Ziel soll es sein, die Chancen der MRI für eine menschengerechte Arbeitsgestaltung zu erkennen, zu fördern und gleichzeitig auftretende Sicherheits- und Gesundheitsrisiken zu vermeiden:

- Es sind Vorgehensweisen zu entwickeln, die ein Anlernen der robotischen Systeme durch den jeweiligen Bediener und deren entsprechendes Qualifikationsniveau ermöglichen, um praxisgerechte Kooperations- und Kollaborationsszenarien zu realisieren.
- Um auf eine breite Nutzerakzeptanz zu treffen, müssen sich Bedieneigenschaften des Roboters mittelfristig an das Qualifikations- und Kompetenzniveau der Beschäftigten anpassen.

- Um die mit der Technologie verbundene Flexibilität auszuschöpfen und gleichzeitig effiziente Prozessabläufe zu gewährleisten, müssen Vorgehensweisen und Technologien entwickelt werden, die eine flexible Sicherheitstechnik hervorbringen.
- Unvollständige Automatisierungslösungen werden künftig häufiger die Interaktion zwischen Mensch und Roboter bestimmen. Es müssen Interaktionsprinzipien entwickelt werden, die den Anforderungen einer wiederkehrenden, fehlbaren Automation gerecht werden und gleichzeitig adäquat auf Beschäftigte eingehen.
- Die Auswirkung der Teilautomatisierung von Prozessen auf verschiedene Arbeitssystemkomponenten muss betrachtet und durch entsprechende Schutzmaßnahmen begegnet werden. So kann als direkte Folge mit der Einführung eines robotischen Systems sozialer Isolation der Beschäftigten einhergehen.
- Die Aufgabengestaltung muss ad hoc und flexibel geschehen können. Dies löst eine herkömmliche im Vorfeld erfolgte Zuteilung von Teilhandlungen, ab wie sie heutzutage beispielsweise mit Hilfe von MABA-MABA-Listen erfolgen.
- Insbesondere bei zunehmend autonomen Robotern ist sicherzustellen, dass die Aktionen des Roboters für Menschen transparent und nachvollziehbar sind. Im Störfall ist dies besonders wichtig.

#### **4. Zusammenfassung und Ausblick**

Das Themenfeld der Mensch-Roboter-Interaktion nimmt kontinuierlich an Bedeutung zu. Dies lässt sich unter anderem an den kontinuierlich steigenden Absatzzahlen, insbesondere in Bereichen außerhalb der Industrie, festmachen. Betrachtet man den bisherigen Stand der Technik in Bezug auf die Mensch-Roboter-Interaktion zusammenfassend, so lässt sich feststellen, dass vielfältiges Wissen in den Bereichen der Roboter- und Interaktionsklassifikation, der Sicherheitstechnik sowie grundlegenden ergonomischen Prinzipien vorliegt. Gleichzeitig wird deutlich, dass die arbeitswissenschaftliche Forschung vor einer Anzahl neuer Herausforderungen und Fragestellungen steht. Diese gilt es zu bewältigen, um eine menschengerechte Gestaltung neuer Arbeitssysteme zu gewährleisten und so die Potentiale der Mensch-Roboter-Interaktion voll auszuschöpfen.

Um die Aktivitäten verschiedener Wissenschaftler und Forschungseinrichtungen zu vernetzen und die Möglichkeit für einen nationalen und internationalen Austausch zu ermöglichen wurde im August 2018 das Technical Committee „Human Factors in Robotics“ (TC HFiR) der International Ergonomics Association (IEA) gegründet. Ziel ist es, Experten aus den Bereichen Ergonomie und Robotik eine Plattform zugeben, an der sie sich aktiv beteiligen können. Innerhalb des Expertenkreises sind beispielsweise Befragungsaktivitäten geplant, die aktuelle Trends im Bereich der Forschung zur Mensch-Roboter-Interaktion abbilden. Aktuelle Informationen sind auf der Webseite der IEA unter <https://www.iea.cc/about/technical.php?id=5af8ff7ac657d> zu finden.

## 5. Literatur

- Bauer W, Bender M, Braun M, Rally P, Scholtz O (2016) Leichtbauroboter in der manuellen Montage – Einfach einfach Anfängen. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2018) Arbeits- und Forschungsprogramm 2018-2021. Dortmund: BAuA
- Deuse J, Grötsch A, Stankiewicz L, Wischniewski S (2016) A Customizable Digital Human Model for Assembly System Design. In: Schlick C, Trzcieliński S (eds) Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol 490. Springer, Cham
- DGUV (2017) Kollaborierende Robotersysteme – Planung von Anlagen mit der Funktion „Leistungs- und Kraftbegrenzung“. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
- DIN EN ISO 9241-11 (2018) Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte, Deutsche Fassung EN ISO 9241-11:2018. Berlin: Beuth
- Goodhue D, Thompson R (1995) Task-technology fit and individual performance. MIS quarterly 19 (2): 213-236
- ISO 8373 (2012) Robots and robotic devices – Vocabulary. Genf: International Organization for Standardization
- Onnasch L, Maier X, Jürgensohn T (2016) Mensch-Roboter-Interaktion – Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle. Dortmund: BAuA
- Rosen P H, Sommer S, Wischniewski S (2019) Evaluation of Human-Robot Interaction Quality: A Toolkit for Workplace Design. In: Bagnara S, Tartaglia R, Albolino S, Alexander T, Fujita Y (eds) Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018). IEA 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol 824. Springer, Cham
- Rosen P H, Wischniewski S (2018) Task Design in Human-Robot-Interaction Scenarios – Challenges from a Human Factors Perspective. In: ARBEIT(S).WISSEN. SCHAF(F)T. Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung. Dortmund: GfA-Press
- Statistisches Bundesamt (2018) Industrie 4.0: Roboter in 16 % der Unternehmen im Verarbeitenden Gewerbe. Pressemitteilung vom 03.12.2018
- The International Federation of Robotics (2018a) Executive Summary World Robotics 2018 Industrial Robots. Zugriff 09.01.2019. Frankfurt am Main: IFR
- The International Federation of Robotics (2018b) Executive Summary World Robotics 2018 Service Robots. Frankfurt am Main: IFR
- The International Federation of Robotics (2018c) Sources and Methods World Robotics Industrial Robots 2018. Zugriff 09.01.2019. Frankfurt am Main: IFR
- Types of Robots (o. D.) Accessed Jan 09, 2019. <https://robots.ieee.org/learn/types-of-robots/>. Piscataway: IEEE
- Ulrich E (2005) Arbeitspsychologie. Stuttgart: Schäffer-Poeschel



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten**

65. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft  
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme  
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit  
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

---

## **GfA-Press**

---

**Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019**

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,  
Technische Universität Dresden;  
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2019  
ISBN 978-3-936804-25-6

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

**Screen design und Umsetzung**

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)